尿素–碳酸氢钠复合厌氧处理麦秸对崂山奶山羊泌乳性能及血清生化指标的影响

刘培剑[1] 朱风华[1] 葛 蔚[1] 曹玉芳[1] 程 明[2] 林英庭[1*]

(1.青岛农业大学动物科技学院，青岛 266109；2.青岛市畜牧兽医研究所，青岛 266000)

摘 要：本试验旨在研究尿素–碳酸氢钠复合厌氧处理麦秸对崂山奶山羊泌乳性能及血清生化指标的影响。选用体重为(53.20±1.75) kg、产奶量为(1.41±0.22) kg/d 的 2 胎健康崂山奶山羊 24 只，采用单因素随机分组设计，随机分成 4 组，每组 6 个重复，每重复 1 只羊。试验饲粮均由精料、全株玉米青贮、秸秆按 4∶3∶3 混合而成，4 组所用秸秆依次为麦秸、复合厌氧麦秸（添加 2.5%碳酸氢钠和 4%尿素青贮 30 d）、玉米秸、花生秧。试验期为 75 d，其中预试期 15 d，正试期 60 d。结果表明：1）复合厌氧麦秸组干物质采食量（DMI）极显著高于麦秸组、玉米秸组、花生秧组（P<0.01）,分别提高了 25.67%、11.37%、10.33%。2）复合厌氧麦秸组产奶量极显著高于麦秸组（P<0.01），提高了 20.16%；复合厌氧麦秸组 4%标准乳产量与花生秧组、玉米秸组差异不显著（P>0.05）。3）复合厌氧麦秸组乳蛋白率与麦秸组、花生秧组、玉米秸组差异不显著（P>0.05），乳脂率显著低于花生秧组（P<0.05）；4 组之间乳糖率、乳非脂固形物率差异不显著（P>0.05）；复合厌氧麦秸组乳脂、乳蛋白、乳糖及乳非脂固形物产量显著或极显著高于麦秸组（P<0.05 或 P<0.01），与玉米秸组、花生秧组差异不显著（P>0.05）。4）复合厌氧麦秸组血清总胆固醇含量显著低于其他 3 组（P<0.05），血清甘油三脂含量低于其他 3 组，差异不显著（P>0.05）；4 组血清葡萄糖、尿素氮、总蛋白、白蛋白、球蛋白含量差异不显著（P>0.05）。综上，尿素–碳酸氢钠复合厌氧麦秸饲喂崂山奶山羊可提高 DMI、产奶量、乳脂率、乳蛋白率，增加乳成分产量，饲喂效果优于未处理麦秸，与玉米秸、花生秧效果相当，对血清生化指标没有不良影响，可作为崂山奶山羊粗饲料加以推广应用。

关键词：复合厌氧处理；粗饲料；泌乳性能；血清生化指标

中图分类号：S823

收稿日期：2017-09-30

基金项目：山东省现代农业产业技术体系羊产业创新团队（SDAIT-10-04）

作者简介：刘培剑（1990—），男，山东安丘人，硕士研究生，从事反刍动物营养与饲料科学研究。E-mail： 634588407@qq.com

*通信作者：林英庭，教授，硕士研究生导师，E-mail： lyt0701@aliyun.com

秸秆是我国重要的粗饲料资源，充分利用秸秆资源，对于缓解优质粗饲料紧缺的现状具有重要意义。秸秆由于纤维木质化程度高、粗蛋白质含量低、营养物质消化率低、适口性较差等因素，直接饲喂效果较差，通过适当加工处理可以提高中低质粗饲料的利用率[1]。秸秆碱化处理可使纤维内部的氢键结合减弱，酯键或醚键破坏，纤维分子膨胀，半纤维素和部分木质素溶解，易于反刍动物瘤胃液的渗入及瘤胃微生物发挥作用，从而改善秸秆的适口性，提高采食量及消化率[2]。另外，在秸秆中添加尿素，尿素分解释放的氨与秸秆有机物发生反应生成铵盐，可有效提高秸秆的粗蛋白质含量[3]。近年来秸秆厌氧碱化处理技术因具有效果显著、成本低、环保、便于规模化应用等优点不断引起人们的关注。Shi 等[4–5]采用氧化钙厌氧处理玉米秸可以有效地防止发霉变质，且该处理方法可以显著提高干物质、有机物及中性洗涤纤维（NDF）在瘤胃中的有效降解率及体外产气量。Shreck 等[6]分别用 20%的氧化钙碱化处理的麦秸和玉米秸替代饲粮中 20%的未处理麦秸和玉米秸饲喂肉牛，平均日增重分别提高了 9.7%和 12.5%，料重比分别降低 10.7%和 5.0%。厌氧碱化处理可以显著地改善中低质粗饲料的饲用价值，但是关于复合厌氧碱化处理秸秆对奶山羊泌乳性能及血清生化指标影响的研究鲜有报道。本试验研究了尿素-碳酸氢钠复合厌氧处理麦秸对崂山奶山羊泌乳性能及血清生化指标的影响，旨在探究复合厌氧处理秸秆饲喂奶山羊的效果，为复合厌氧处理秸秆的应用提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

麦秸、玉米秸、花生秧均采自山东省规模化羊场，自然晾干，切短至 3~5 cm 备用；复合厌氧麦秸制作方法：收获籽实的新鲜麦秸切短至 3~5 cm，分别按秸秆干物质重的 2.5%和 4%加入碳酸氢钠和尿素，混合均匀后加水调节含水率为 35%，立即装入青贮袋中压实、密封，厌氧处理 30 d，饲喂前自然晾干。试验用尿素为分析纯，含氮量≥46.7%，购自阳煤集团烟台巨力化肥有限公司，碳酸氢钠为化学纯，纯度≥99.9%，购自青岛碱业发展有限公司。复合厌氧处理前后麦秸营养水平见表 1。

表 1 复合厌氧处理前后麦秸营养水平（干物质基础）

Table 1 Nutrient components of compound anaerobic treated and untreated wheat straw (DM basis) %

项目 Items	粗蛋白质 CP	中性洗涤纤维 NDF	酸性洗涤纤维 ADF	粗灰分 Ash
麦秸 Wheat straw	4.24	80.38	47.94	10.17

复合厌氧麦秸 Compound anaerobic treated wheat straw	14.32	71.14	43.18	11.45

1.2 试验动物及饲粮

选用体重为（53.20±1.75）kg、产奶量（1.41±0.22）kg/d 的 2 胎健康崂山奶山羊 24 只，采用单因素随机分组设计，随机分成 4 组，每组 6 个重复，每个重复 1 只羊，试验饲粮均由精料、全株玉米青贮、秸秆按 4∶3∶3 混合而成，4 组所用秸秆依次为麦秸、复合厌氧麦秸、玉米秸、花生秧，试验饲粮组成及营养水平见表 2。试验期为 75 d，其中预试期 15 d，正试期 60 d。

表 2 试验饲粮组成及营养水平（干物质基础）

Table 2 Composition and nutrient levels of experimental diets (DM basis) %

项目 Items	麦秸组 Wheat straw group	复合厌氧麦秸组 Compound anaerobic wheat straw group	玉米秸组 Corn stover group	花生秧组 Peanut vine group
原料 Ingredients				
全株青贮玉米 Whole-plant maize silage	30.00	30.00	30.00	30.00
干麦秸 Wheat straw	30.00			
复合厌氧麦秸 Compound anaerobic wheat straw		30.00		
玉米秸 Corn stover			30.00	
花生秧 Peanut vine				30.00
玉米 Corn	19.90	19.90	19.90	19.90
豆粕 Soybean meal	9.50	9.50	9.50	9.50
麦麸 Wheat bran	8.75	8.75	8.75	8.75
食盐 NaCl	0.30	0.30	0.30	0.30
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	0.40	0.40	0.40	0.40
石粉 Limestone	0.15	0.15	0.15	0.15
预混料 Premix1)	1.00	1.00	1.00	1.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrition levels2)				
粗蛋白质 CP	11.85	15.53	11.88	13.66
粗灰分 Ash	7.51	8.45	6.88	7.57
总能 GE/(MJ/kg)	19.25	18.71	18.68	17.31
中性洗涤纤维 NDF	47.22	38.88	50.29	41.14
酸性洗涤纤维 ADF	24.6	19.5	26.57	23.64
钙 Ca	1.91	2.04	1.79	2.26
磷 P	0.41	0.44	0.40	0.39

1)预混料为每千克饲粮提供 Premix provided the following per kg of diets: VA 17 500 IU, VE 43 mg, VD_3 3500 IU, VB_5 25.74 mg, Mn (as manganese sufate) 31 mg, Zn (as zinc sulfate) 92.5 mg, Cu (as copper sulfate) 30 mg, Co (as cobaltous sulfate) 0.72 mg, I (as potassium iodide) 1.25 mg, Se (as sodium selenite) 1.00 mg。

2)营养水平均为实测值。Nutrient levels were all measured values.

1.3 饲养管理

试羊单栏饲养，每天 06:30、11:30、17:30 准时饲喂，自由采食，提供充足洁净饮水，每天 06:00、18:00 机器挤奶，同时记录采食及健康状况，各组饲养管理条件完全一致。

1.4 样品的采集和指标分析

1.4.1 干物质采食量(DMI)

正试期每次饲喂前后准确记录投料量和剩料量，测算 DMI。

1.4.2 产奶量

正试期每天准确记录早晚产奶量，计算 4%标准乳(4% FCM)产量，公式如下：

4%标准乳产量=（0.4+15×乳脂产量）×产奶量。

1.4.3 乳成分

分别于正试期第 1、20、40、60 天的 06:00 和 18:00 采集乳样，将 2 次乳样按照 1∶1 混合均匀后置于 4 ℃冰箱保存，使用 HZDY-UL80BC 乳成分分析仪测定乳成分。

1.4.4 血清生化指标

正试期的第 1、60 天采集血样，用肝素钠抗凝血管采集试羊静脉血液 5 mL，4 000 r/min 离心 10 min，转移上清液于 2 mL 离心管中，置于-80 ℃冰箱保存，使用南京建成生物工程所提供的试剂盒测定血清葡萄糖（GLU）、尿素氮(UN)、总蛋白（TP）、白蛋白（ALB）、球蛋白（GLOB）、总胆固醇（GHOL）、甘油三脂（TG）含量。

1.5 数据统计与分析

试验数据采用 Excel 2010 初步处理，使用 SPSS 17.0 软件进行单因素方差分析，Duncan 氏法多重比较检验组间差异显著性，试验数据以平均值±标准误表示，以 P<0.05 和 P<0.01 作为差异显著和极显著标准。

2 结果与分析

2.1 DMI、产奶量及乳成分

由表 3 可知，复合厌氧麦秸组的 DMI 极显著高于麦秸组、玉米秸组和花生秧组(P<0.01)，分别提高了 25.67%、11.37%、10.33%，玉米秸组和花生秧组极显著高于麦秸组(P<0.01)。在产奶量方面，复合厌氧麦秸组极显著高于麦秸组(P<0.01)，提高了 20.16%，与玉米秸组、花生秧组差异不显著(P>0.05)。麦秸组的 4%标准乳产量显著低于花生秧组

(P<0.05)，复合厌氧麦秸组与玉米秸组、花生秧组差异不显著(P>0.05)，复合厌氧麦秸组比麦秸组提高了 8.73%。

麦秸组的乳脂率极显著低于玉米秸组、花生秧组(P<0.01)，复合厌氧麦秸组的乳脂率显著低于花生秧组(P<0.05)，与麦秸组、玉米秸组差异不显著(P>0.05)；将乳脂率转换为乳脂产量后发现，麦秸组显著低于复合厌氧麦秸组、玉米秸组、花生秧组(P<0.05)。麦秸组的乳蛋白率显著低于花生秧组(P<0.05)，与复合厌氧麦秸组、玉米秸组差异不显著(P>0.05)；将乳蛋白率转化为乳蛋白率产量后，复合厌氧麦秸组、花生秧组极显著高于麦秸组(P<0.01)，玉米秸组显著高于麦秸组(P<0.05)。乳非脂固形物率与乳糖含量 4 组之间差异不显著(P>0.05)，但乳非脂固形物和乳糖产量均表现为复合厌氧麦秸组、花生秧组显著高于麦秸组(P<0.05)，与玉米秸组差异不显著(P>0.05)。

表 3 尿素–碳酸氢钠复合厌氧处理麦秸对崂山奶山羊 DMI、产奶量及乳成分的影响

Table 3 Effects of compound anaerobic treated wheat straw with urea and sodium bicarbonate on DMI, milk yield and milk composition of *Laoshan* dairy goats

项目 Items	麦秸组 Wheat straw group	复合厌氧麦秸组 Compound anaerobic wheat straw group	玉米秸组 Corn stover group	花生秧组 Peanut vine group
干物质采食量 DMI/[kg/(d·只)]	1.87±0.02^{Cc}	2.35±0.01^{Aa}	2.11±0.01^{Bb}	2.13±0.01^{Bb}
产奶量 Milk yield/[kg/(d·只)]	1.24±0.02^{Bb}	1.49±0.04^{Aa}	1.38±0.05^{ABa}	1.42±0.03^{ABa}
4%标准乳产量 4% FCM yield/[kg/(d·只)]	1.26±0.09^{b}	1.37±0.04^{ab}	1.41±0.03^{ab}	1.50±0.04^{a}
乳脂率 Milk fat percentage/%	3.78±0.12^{Bc}	4.10±0.10^{ABbc}	4.40±0.13^{Aab}	4.59±0.07^{Aa}
乳脂产量 Milk fat yield/[g/(d·只)]	50.90±3.42^{b}	69.09±7.29^{a}	64.12±8.62^{a}	68.92±6.24^{a}
乳蛋白率 Milk protein percentage/%	2.89±0.15^{b}	3.08±0.04^{ab}	3.12±0.08^{ab}	3.15±0.04^{a}
乳蛋白产量 Milk protein yield/[g/(d·只)]	32.19±1.82^{Bb}	45.91±4.11^{Aa}	42.12±3.17^{ABa}	46.44±3.23^{Aa}
乳非脂固形物率 Non-fat solid percentage/%	8.76±0.06	9.09±0.09	9.05±0.14	9.14±0.11
乳非脂固形物产量 Non-fat solid yield/[g/(d·只)]	107.83±5.72^{b}	139.92±9.97^{a}	122.18±9.21^{ab}	134.83±9.51^{a}
乳糖率 Lactose percentage/%	5.10±0.03	5.28±0.05	5.25±0.08	5.31±0.06
乳糖产量 Lactose yield/[g/(d·只)]	62.01±3.09^{b}	76.95±6.51^{a}	70.90±5.35^{ab}	78.32±5.58^{a}

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著(P＞0.05)，不同小写字母表示差异显著(P＜0.05)，不同大写字母表示差异极显著(P＞0.01)。下表同。

In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference (P＞0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (P＜0.05), and with different capital letter superscripts mean significant difference (P＞0.01). The same as below.

2.2 血清生化指标

由表 4 可知，复合厌氧麦秸组血清总胆固醇含量显著低于其他 3 组(P<0.05)，血清甘油三脂含量低于其他 3 组，差异不显著(P>0.05)。4 组血清中葡萄糖、尿素氮、总蛋白、白蛋白、球蛋白含量及白蛋白/球蛋白差异不显著(P>0.05)。

表 4 尿素–碳酸氢钠复合厌氧处理麦秸对崂山奶山羊血清生化指标的影响

Table 4 Effects of compound anaerobic treated wheat straw with urea and sodium bicarbonate on serum biochemical indices of *Laoshan* dairy goats

项目 Items	麦秸组 Wheat straw group	复合厌氧麦秸组 Compound anaerobic wheat straw group	玉米秸组 Corn stover group	花生秧组 Peanut vine group
葡萄糖 GLU/(mmol/L)	0.58±0.10	0.77±0.13	0.65±0.10	0.67±0.15
尿素氮 UN/(mmol/L)	5.86±0.18	5.35±0.17	5.61±0.33	5.85±0.41
总蛋白 TP/(g/L)	67.83±4.02	62.24±1.54	62.68±2.98	66.52±2.50
白蛋白 ALB/(g/L)	30.25±1.96	28.02±0.94	27.93±1.34	29.25±0.96
球蛋白 GLOB/(g/L)	37.58±2.72	33.22±0.74	33.75±1.95	37.27±1.65
白蛋白/球蛋白 A/G	0.81±0.06	0.84±0.02	0.83±0.04	0.78±0.03
总胆固醇 CHOL(mmol/L)	2.40±0.03^{a}	1.88±0.15^{b}	2.44±0.20^{a}	2.58±0.11^{a}
甘油三脂 TG(mmol/L)	0.15±0.02	0.12±0.03	0.17±0.03	0.16±0.01

3 讨 论

3.1 尿素－碳酸氢钠复合厌氧处理麦秸对崂山奶山羊 DMI 的影响

DMI 是动物获取所需能量和营养物质及维持健康的必要条件[7]。影响反刍动物 DMI 的因素有动物、饲粮、环境及饲养管理等，本试验中动物因素、环境因素及饲养管理方式均保持一致，影响奶山羊 DMI 的主要因素为饲粮。饲粮对 DMI 的影响表现为饲粮的物理化学因素对 DMI 的影响及饲粮中营养物质含量对 DMI 的影响 2 个方面[8]。本试验中，采用不同的粗饲料饲喂崂山奶山羊，麦秸组的 DMI 极显著低于复合厌氧麦秸组、玉米秸组和花生秧组，而复合厌氧麦秸组 DMI 极显著高于玉米秸组、花生秧组。分析原因可能是复合厌氧麦秸组 NDF 含量低于其他 3 组，饲喂低 NDF 含量的饲粮会降低瘤胃内食糜的体积，增加动物的 DMI[9]。麦秸经厌氧碱性物质处理后，部分官能团裂解，使纤维素、半纤维素和木质素组成的三维网状大分子结构断裂为小分子物质，破坏了细胞壁中硅质细胞表层，增加了秸秆的亲水性，使秸秆质地柔软、松散，气味为糊香味，改善了饲粮的适口性，提高了 DMI[10]。Zorrilla-Rios 等[11]曾报道用尿素处理可增强麦秸的脆性，使其通过瘤胃的速度加快，从而提高了采食量。另外，碳酸氢钠的添加可增加反刍动物机体的碱贮，中和瘤胃内的酸性物质促进胃肠蠕动，提高瘤胃液 pH，改善动物的适口性[12]。曹玉凤等[13]采用尿素、氢

氧化钙和食盐复合处理麦秸和稻草饲喂肉牛，采食量提高了6.8%~23.5%，瘤胃干物质降解率比未处理稻草和麦秸分别提高了20.6%、25.3%，基本与本试验结果相一致。玉米秸组与花生秧组的DMI高于麦秸组，分别提高了12.83%和13.90%。原因可能是麦秸体外干物质降解率(34.33%)显著低于玉米秸(46.84%)和花生秧(54.14%)[14]，干物质降解率是影响饲粮采食量的重要因素，与DMI存在正相关关系[15]。

3.2 尿素－碳酸氢钠复合厌氧处理麦秸对崂山奶山羊产奶量及乳成分的影响

3.2.1 产奶量

产奶量是衡量奶山羊经济状况的重要指标之一。影响反刍动物产奶量的主要因素有遗传、生理、环境3个方面，其中外界环境因素影响占70%~75%，饲粮营养水平是外界环境中影响产奶性能的最主要的因素。本试验中复合厌氧麦秸组产奶量极显著高于麦秸组，玉米秸组与花生秧组显著高于麦秸组，究其原因DMI可能是影响产奶量的主要原因。奶山羊的产奶量与DMI存在正相关关系。DMI决定奶山羊用于维持和生产的营养物质的量，营养物质摄入的增多导致动物能量摄入增加，能量直接影响着产奶量的高低[16]。复合厌氧麦秸组中尿素与碳酸氢钠的添加也可能是提高奶山羊产奶量的重要原因，尿素释放的氨可在瘤胃微生物的作用下与饲粮中的碳水化合物合成微生物蛋白，微生物蛋白具有较高的生物学价值，其提供的氨基酸占反刍动物小肠内氨基酸总量的40%~80%，可为畜体提供大量的蛋白质营养[17]。相关研究表明，奶山羊产奶量随着饲粮蛋白质水平的提高而呈增加趋势[18]。尿素、碳酸氢钠均可改变瘤胃的挥发性脂肪酸组成成分，提高乙酸含量[19-20]，乙酸含量的增多，产奶量和乳脂率都将得到提高。车超[21]在奶牛的饲粮中添加尿素，平均产奶量由试验开始时的8.68 kg/d提高到试验结束时的9.22 kg/d，提高了6.22%。麦秸组DMI和产奶量均低于玉米秸组与花生秧组，原因可能与3种秸秆的NDF含量有关。NDF主要由纤维素、半纤维素和木质素组成，纤维素、半纤维素在瘤胃中可被利用，木质素完全不能被微生物利用，麦秸、玉米秸、花生秧木质素含量分别为7.04%~7.44%、5.28%、3.35%[22–24]，木质素含量会影响NDF在瘤胃内的降解率。李志强[25]曾报道提高NDF降解率可以显著增加奶牛的采食量和产奶量。麦秸、玉米秸、花生秧在瘤胃内NDF降解率分别为28.70%、36.79%、38.18%[14]。麦秸的NDF降解率低于玉米秸与花生秧，因此麦秸组产奶量最低。将产奶量转化为4%标准乳产量后，麦秸组依旧显著低于花生秧组，原因可能是麦秸组较

花生秧组适口性差、DMI 不高、产奶量低、可降解 NDF 含量低，不能满足奶山羊的能量、蛋白质等营养需要，从而导致产奶量、乳脂率均较低，进而使麦秸组 4%标准乳产量不高。

3.2.2 乳成分

乳成分中乳脂、乳蛋白、乳非脂固形物及乳糖是衡量乳品质和饲粮营养价值的主要指标。乳成分的比率与产量受奶山羊遗传因素、DMI、产奶量、饲粮精粗比、能量摄入量等多种因素的影响。乳脂率是乳中所含的短链和中链脂肪酸，其含量易受饲粮组成的影响[26]。乳蛋白主要包括酪蛋白、乳清蛋白和少量的乳脂肪球膜蛋白。饲粮中能量及动物对能量的利用是影响乳成分特别是乳蛋白浓度的主要因素，能量降低，乳蛋白率及乳脂率会下降[27]，优质粗饲料在瘤胃中发酵可满足合成微生物蛋白对酮酸和 ATP 的需要。本试验中，麦秸组乳脂率及乳脂产量显著低于玉米秸组、花生秧组，麦秸组乳蛋白率及乳蛋白产量显著低于花生秧组，麦秸组乳成分及其产量较低可能是因为麦秸的营养水平较低。花生秧和玉米秸粗蛋白质含量较高、粗纤维含量较低，优于于麦秸[28]，麦秸、玉米秸及花生秧的消化能分别为 1.65、2.57、2.22 MJ/kg，麦秸的消化能低于玉米秸和花生秧[29]，麦秸添加到饲粮中降低了奶山羊对营养物质的消化能力，显著降低了奶山羊的乳品质及乳成分产量。本试验中，麦秸组乳成分比率与复合厌氧麦秸组差异均不显著，通过换算出乳成分产量后发现复合厌氧麦秸组乳脂、乳蛋白、乳非脂固形物及乳糖产量均显著或极显著高于麦秸组。分析原因除了复合厌氧麦秸组营养水平高于麦秸组外，添加碳酸氢钠可能增加了动物的饮水量[30]，产奶量上升，乳成分被稀释，产奶量与乳成分呈显著的负相关[31]，复合厌氧麦秸组乳成分产量高于麦秸组表明经厌氧碱化处理后的麦秸比未处理的麦秸明显改善乳成分的品质。乳中乳蛋白率及乳蛋白产量的增加可能与尿素分解的氨在瘤胃中合成微生物蛋白有密切关系，微生物蛋白含量增多提高了乳蛋白产量；乳脂率、乳脂产量、乳糖率和乳糖产量的增加可能是因为复合厌氧麦秸组 DMI 显著高于麦秸组，碳水化合物在瘤胃微生物作用下产生大量的挥发性脂肪酸，挥发性脂肪酸可以为反刍动物提供能量需要量的 70%~80%[32]，乙酸和丙酸分别约占挥发性脂肪酸总量的 62.9%~69.3%、18.6%~30.1%[7]，乙酸和丙酸分别是乳脂和乳糖的重要前体物质，因此 DMI 增加可能是乳脂、乳糖产量增加的间接原因；乳非脂固形物率随着乳成分及其产量的增加而增加[33]。毛华明等[34]用 2.5%尿素和 5%氢氧化钙复合处理大麦秸颗粒替代羊草饲喂泌乳奶牛，研究发现复合处理大麦秸颗粒组的乳脂率和乳糖率

与优质羊草组差异不显著。Wanapat 等[35]采用 5.5%尿素或 2.2%尿素+2.2%氢氧化钙处理水稻饲喂奶牛，与未处理水稻组相比较，乳蛋白率分别提高 17.86%、21.43%，乳脂率分别提高 7.89%、13.16%，乳糖率、乳非脂固形物率等指标数值上均有提高，以上报道均与本试验结果相一致。碳酸氢钠的添加也可能是复合厌氧麦秸组改善乳品质的重要原因。郑瑞波等[36]和孙家发[37]曾报道碳酸氢钠可以提高瘤胃液 pH，使瘤胃内的发酵类型向乙酸型转化，促进了瘤胃微生物的活动，从而提高了乳中脂肪及蛋白质的合成效率。

3.3 尿素–碳酸氢钠复合厌氧处理麦秸对崂山奶山羊血清生化指标的影响

动物血清生化成分是反映其生命活动的物质基础，其含量及其变化规律是动物体重要的生物学特征。血清葡萄糖含量变化反映机体对糖吸收、运转和代谢的动态平衡状态[38]。血清中尿素含量可反映动物蛋白质代谢的状况，主要来源于饲粮瘤胃中可降解蛋白质及瘤胃壁吸收的氨氮，是动物体蛋白质及氨基酸代谢的终产物，血清尿素氮含量与饲粮氮利用率呈反比[39]。血清总蛋白由白蛋白和球蛋白组成，总体反映了体内蛋白质的合成情况，白蛋白是判断动物能量和蛋白质营养状况的重要指标，参与肝脏功能的合成及脂肪酸的运输，白蛋白的降低是肝功能损伤的标志之一，球蛋白是机体内参与免疫反应的主要蛋白质，影响动物体液免疫功能[40]。血清中甘油三脂是体内能量的主要来源，甘油三脂含量反映动物体内脂肪代谢情况，体内脂类代谢出现障碍时血液中脂肪含量会明显升高[41]。本试验中，4 种饲粮对崂山奶山羊血清中葡萄糖、尿素氮、总蛋白、白蛋白、球蛋白含量均无不良影响，表明复合厌氧麦秸与麦秸、玉米秸、花生秧相比对奶山羊糖代谢、蛋白质代谢、氮的利用率以及免疫功能基本无影响。本试验结果与刘国栋[42]、周顺成等[43]的研究报道基本一致。本试验中，复合厌氧麦秸组血清甘油三脂含量在数值上低于麦秸组、玉米秸组及花生秧组，血清总胆固醇含量显著低于麦秸组、玉米秸组及花生秧组，但试验动物总胆固醇的含量为 1.89~2.58 mmol/L，均在正常范围内[44]。甘油三脂可直接参与总胆固醇的合成，是机体贮存能量的形式，也是血脂的成分之一，处于动态平衡，血清中甘油三酯反映机体对脂类的利用情况，其含量越低，意味着脂肪的利用效率较高。因此，本试验结果表明，复合厌氧麦秸组可有效降低血清中总胆固醇含量提高脂肪的利用效率。本试验中，血清甘油三脂及总胆固醇含量的降低可能与尿素的添加有关。车超[21]在奶牛的饲粮中添加 90 g/d 尿

素时，血清的总胆固醇含量也出现了下降的趋势。尿素对血清中总胆固醇及甘油三脂降低的具体作用机制有待进一步研究。

4 结 论

①2.5%碳酸氢钠与4%尿素复合厌氧处理麦秸作为粗饲料饲喂崂山奶山羊与麦秸相比DMI、产奶量、乳脂率、乳蛋白率分别提高25.67%、20.16%、8.47%、6.57%，复合厌氧麦秸DMI比玉米秸秆、花生秧分别提高11.37%、10.33%，产奶量、4%标准乳产量、乳成分及乳成分产量与玉米秸、花生秧效果相当。

② 2.5%碳酸氢钠与4%尿素复合厌氧处理麦秸饲喂崂山奶山羊可降低血清总胆固醇、甘油三酯含量，对血清生化指标没有不良影响。

参考文献：

[1] 李胜利,史海涛,曹志军,等.粗饲料科学利用及评价技术[J].动物营养学报,2014,26(10):3149–3158.

[2] 彭远荣.秸秆饲料碱化处理技术[J].中国畜牧兽医文摘,2012,28(3):192.

[3] 曹春梅,闫贵龙,薛素琴.提高氨化处理秸秆粗蛋白含量的适宜方法研究[J].草业科学,2005,22(12):67–70.

[4] SHI H T,CAO Z J,LI S L.et al.*In vitro* digestibility and production kinetic characteristics of corn stover treated by calcium oxide and stored under anaerobic condition[J/OL].Journal of Dairy Science,2014.https://asas.confex.com/asas/jam2014/webprogram/Paper5248.html.

[5] SHI H T,LI S L,CAO Z J.et al.Effects of calcium oxide level and moisture content on the in situ degradability of the alkali treated and anaerobically stored corn stover[J/OL].Journal of Dairy Science,2014.https://asas.confex.com/asas/jam2014/webprogram/Paper5251.html.

[6] SHRECK A L,NUTTELMAN B L,GRIFFIN W A,et al.Chemical treatment of low-quality forages to replace corn in cattle finishing diets[R].Nebraska:The board of regents of the university of Nebraska,2012:106–107.

[7] 冯仰廉.反刍动物营养学[M].北京:科学出版社,2004.

[8] 李文娟,刁其玉.肉羊日粮干物质采食量及其影响因素的研究进展[J].中国畜牧杂志,2016,52(19):95–99.

[9] TJARDES K E,BUSKIRK D D,ALLEN M S,et al.Netural detergent fiber concentration of corn silage and rumen inert bulk influ-ences dry matter intake and ruminal digesta kinetics of growing steers[J].Journal of Animal Science,2002,80(3):833–840.

[10] 马兴元,刘琪,马君.氨化预处理对生物质秸秆厌氧发酵的影响[J].生态环境学报,2011,20(10):1503–1506.

[11] ZORRILLA-RIO J,OWENS F N,HORN G W,et al.Effect of ammoniation of wheat straw on performance and digestion kinetics in cattle[J].Journal of Animal Science,1985,60(3):841–821.

[12] 方希修,王冬梅,葛怀洲.碳酸氢钠的营养生理功能及应用[J].中国饲料,2001(22):14–15,19.

[13] 曹玉凤,李英,刘荣昌,等.复合化学处理秸秆对肉牛生产性能的影响[J].中国草食动物,2000,2(1):13–16.

[14] 陈晓琳,孙娟,王月超,等.不同类农作物秸秆在肉羊瘤胃中的降解特性研究[J].中国畜牧杂志,2015,51(5):45–51.

[15] 夏科,姚庆,李富国,等.奶牛常用粗饲料的瘤胃降解规律[J].动物营养学报,2012,24(4):769–777.

[16] 范铤.日粮中 NDF 水平及粗饲料 NDF 降解率对奶牛采食量及生产性能的影响的研究[D].硕士学位论文.泰安:山东农业大学,2014:5–6.

[17] 黄帅.黄曲霉毒素 B1、赭曲霉毒素 A 和玉米赤霉烯酮联合对奶山羊生产性能和血液代谢的影响[D].硕士学位论文.合肥:安徽农业大学,2016:23.

[18] 孟凡生,袁翠林.饲粮不同蛋白质水平对奶山羊生产性能及血清生化指标的影响[J].中国兽医学报,2017,37(5):918–922.

[19] 王会,罗军,张伟,等.一种新型缓释非蛋白氮添加水平对奶山羊泌乳性能及血液生化指标的影响[J].动物营养学报,2014,26(3):718–724.

[20] HADJIPANAYIOTOU M.Effect of sodium bicarbonate and of roughage on milk yield and milk composition of goats and on rumen fermentation of sheep[J].Journal of Dairy Science,1982,65(1):59–64.

[21] 车超.纤维素酶、尿素对奶牛生产性能和生化指标的影响[D].硕士学位论文.武汉:华中农业大学,2006:58.

[22] 马慧娟.预处理对麦秸生物产沼气的影响研究[D].硕士学位论文.南京:南京农业大学,2013:22.
[23] 曹春梅,闫贵龙.石灰处理秸秆的适宜剂量优选[J].中国草食动物,2005,25(4):35–37.
[24] 孙艳朋,王利华,王光,等.5 种粗纤维饲料底物对瘤胃真菌纤维素酶的影响[J].中国畜牧杂志,2012,48(19):54–56.
[25] 李志强.苜蓿干草等几种粗饲料的营养价值比较[J].河南畜牧兽医,2002,23(12):27.
[26] SUTTON J D,BROSTER W H,SCHULLER E,et al.Influence of plane of nutrition and diet composition on rumen fermentation and energy utilization by dairy cows[J].The Journal of Agricultural Science,1988,110(2):261–270.
[27] BAUMAN D E,GRIINARI J M.Nutritional regulation of milk fat synthesis[J].Annual Review of Nutrition,2003,23(1):203–227.
[28] 宋恩亮,张金奉,赵红波,等.山东省常用粗饲料营养成分分析[J].山东农业科学,2016,48(6):109–114.
[29] 袁翠林,于子洋,王文丹,等.山东省羊常用粗饲料营养价值评定[J].草业学报,2015,24(6):220–226.
[30] 刘颖.日粮添加阿伏霉素对肉牛瘤胃发酵的影响[J].黑龙江畜牧兽医,2015(1):101–102.
[31] 周亚平,刘琴,施开平,等.乳体细胞数与产奶量、乳成分的关系研究[J].中国牛,2011(4):40–42.
[32] BERGMAN E N.Glucose metabolism in ruminants as related to hypoglycemia and ketosis[J].Cornell Veterinarian,1973,63(3):341–382.
[33] PRASAD R D D,REDDY M R,REDDY G V N.Effect of feeding baled and stacked urea treated rice straw on the performance of crossbred cows[J].Animal Feed Science and Technology,1998,73(3/4):347–352.
[34] 毛华明,朱仁俊,冯仰廉.饲喂复合化学处理大麦秸颗粒对泌乳牛生产性能的影响[J].云南农业大学学报,1999,14(2):167–170.

[35] WANAPAT M,POLYORACH S,BOONNOP K,et al.Effects of treating rice straw with urea or urea and calcium hydroxide upon intake,digestibility,rumen fermentation and milk yield of dairy cows[J].Livestock Science,2009,125(2/3):238–243.

[36] 郑瑞波,王志刚,于世浩.影响奶牛乳脂率的因素及提高措施[J].中国奶牛,2006(7):57–58.

[37] 孙家发.碳酸氢钠对绵羊瘤胃内环境和血液的影响[J].黑龙江畜牧兽医,1995(7):25–27.

[38] 李冬梅,耿忠诚,于亚洲.日粮中添加半胱胺对肉羊血液生化指标及胴体品质的影响[J].黑龙江八一农垦大学学报,2007,19(5):58–61.

[39] BROWN M S,PONCE C H,PULIKANTI R.Adaptation of beef cattle to high-concentrate diets:performance and ruminal metabolism[J].Journal of Animal Science,2006,84(1S):E25–E33.

[40] 侯玉洁.不同粗饲料降解特性及对奶牛生产性能和血液生化指标的影响[D].硕士学位论文.扬州:扬州大学,2014:49.

[41] 冯兴龙,赵春平,焦锋,等.不同粗饲料对秦川肉牛生长发育及血液生化指标的影响[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2016,44(9):10–16.

[42] 刘国栋.不同氨化时间稻草对羔羊育肥、瘤胃发酵及胴体品质的影响[D].硕士学位论文.哈尔滨:东北农业大学,2008:43.

[43] 周顺成,万国栋,许青年.氨化麦秸对羔羊生产性能和生理生化指标影响的研究[J].中国草食动物,2011,31(3):35–36.

[44] 陈杰.家畜生理学[M].4 版.北京:中国农业出版社,2004:36.

Effects of Compound Anaerobic Treated Wheat Straw with Urea and Sodium Bicarbonate on Lactation Performance and Serum Biochemical Indices of *Laoshan* Dairy Goats

LIU Peijian[1] ZHU Fenghua[1] GE Wei[1] CAO Yufang[1] CHENG Ming[2] LIN Yingting[1*]

(1. *College of Animal Science and Technology*, *Qingdao Agricultural University, Qingdao* 266109, *China;* 2. *Institute of Husbandry and Veterinary of Qingdao City*, *Qingdao* 266000, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of compound anaerobic treated wheat straw with urea and sodium bicarbonate on lactation performance and serum biochemical indices of *Laoshan* dairy goats. Twenty four healthy *Laoshan* dairy goats in lactation with body

*Corresponding author, professor, E-mail: lyt0701@aliyun.com （责任编辑　王智航）

weight of (53.20±1.75) kg, milk yield of (1.41±0.22) kg/d, and 2 parities were used by single factor randomized design and equally divided into 4 groups with 6 replicates per group and 1 goat per replicate. Diets were all mixed with concentrate, whole-plant corn silage, straw with the ratio of 4∶3∶3. The straw of four groups was wheat straw, compound anaerobic wheat straw (supplemented with 2.5% sodium bicarbonate and 4% urea, and ensilaged for 30 d), corn stover and peanut vine, respectively. The experiment lasted for 75 d consisting of a 15-day-pretest and a 60-day-test. The results showed as follows: 1) dry matter intake （DMI） in compound anaerobic wheat straw group was significantly higher than that in wheat straw （$P<0.05$）, corn stover and peanut vine groups, and improved by 25.67%, 11.37% and 10.33%, respectively. 2) Milk yield in compound anaerobic wheat straw group was significantly higher than that in wheat straw group （$P<0.05$）, and was improved by 20.16%; 4% fat-corrected milk yield in compound anaerobic wheat straw group was not significantly different from that in corn stover and peanut vine groups （$P>0.05$）. 3） Milk protein percentage in compound anaerobic wheat straw group was not significantly from that in wheat straw, corn stover and peanut vine groups （$P>0.05$）, and milk fat percentage in compound anaerobic wheat straw group was significantly lower than that in peanut vine group （$P<0.05$）； there were no significant differences of lactose percentage and milk non-fat solid percentage among groups（$P>0.05$）; yields of milk fat, milk protein, lactose and milk non-fat solid in compound anaerobic wheat straw group were significantly higher than those in wheat straw group ($P<0.05$ or $P<0.01$), but were not significantly different from corn stover and peanut vine groups （$P>0.05$）. 4) Serum total cholesterol content in compound anaerobic wheat straw group was significantly lower than that in other groups（$P<0.05$）, and serum triglyceride content in compound anaerobic wheat straw group was lower than that in other groups, but the difference was not significant （$P>0.05$）; there were no significant differences in serum glucose, urea nitrogen, total protein, albumin and globulin contents among groups （$P>0.05$）. It is concluded that using compound anaerobic treated wheat straw with urea and sodium bicarbonate to feed *Laoshan* dairy goats can improve DMI, milk yield, milk fat percentage and milk protein percentage, increase milk composition yields, and its feeding effect is superior to

wheat straw and similar to corn stover and peanut vine; there are no adverse effects on serum biochemical indices of *Laoshan* dairy goats; urea-sodium bicarbonate compound anaerobic treated wheat straw can be used as a roughage source for *Laoshan* dairy goats.

Key words: compound anaerobic treatment; roughage; lactation performance; serum biochemical indices